

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	誘電体アシスト型高周波加速空洞の原理実証研究
Title(English)	A Proof-of-Principle Study of Dielectric Assist Accelerating Structure
著者(和文)	佐藤大輔
Author(English)	Daisuke Satoh
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10170号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:林崎 規託,小栗 慶之,矢野 豊彦,赤塚 洋,筒井 広明
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10170号, Conferred date:2016/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名	佐藤 大輔	
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名
	主査	林崎 規託	准教授	審査員	筒井 広明	准教授
	審査員	小栗 慶之	教 授			
		矢野 豊彦	教 授			
		赤塚 洋	准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「誘電体アシスト型高周波加速空洞の原理実証研究」と題し、全 9 章から構成されている。

第 1 章「序論」では、電子-陽電子線形衝突型加速器 (リニアコライダー) のようなエネルギーフロンティア加速器計画には高電界加速が可能で、高い電力効率をもつ電子線形加速器が必要とされ、そのために常伝導タイプの X バンド加速空洞 (運転周波数 8~12 GHz) と超伝導タイプの L バンド加速空洞 (運転周波数 1.3 GHz) の 2 種類が開発されてきたことを述べ、前者は 100 MV/m を超える高電界加速が可能である反面、システム全体の電力効率の点では後者に劣ってしまう短所があり、後者は加速空洞の無負荷 Q 値 (Q_0) が非常に高いため電力効率に優れ、発熱も小さいことから長パルス運転や連続運転が可能であるものの、加速電界強度に理論的な制約があるため全長が大きくなる短所があることを指摘している。そして、本論文の目的が、従来の高周波加速空洞では困難であった高電界加速と高電力効率を両立可能な低損失セラミックスを用いた新奇加速空洞を提案し、その原理実証を試みるものであることを述べている。

第 2 章「高周波加速」では、高周波加速器における荷電粒子の加速原理や加速方式に関する事項と、高周波加速空洞の動作原理や主要なパラメータの定義について述べている。

第 3 章「誘電体加速空洞」では、誘電体材料を用いた高周波加速空洞の特徴と先行研究の内容を整理したうえで、最も長い歴史と基本的な構造をもつ同軸誘電体装荷型加速空洞の動作原理と性能についてマクスウェル方程式を用いて理論的に考察するとともに、金属製高周波加速空洞に対する得失を検証している。

第 4 章「誘電体アシスト型高周波加速空洞」では、前章で述べた誘電体装荷型加速空洞がビーム加速にエバネッセント波を用いていることが、その加速効率の向上を妨げている原理的な問題点であることを指摘し、高電界加速と高電力効率を両立する新しい誘電体加速空洞として、誘電体アシスト型高周波加速構造を提案している。そして、C バンド (5.712 GHz) の運転周波数に対する基本性能を 2 次元モデルにより理論的に考察したうえで、レギュラーセルとエンドセルの具体的な設計方法について述べ、実際に 3 次元電磁界シミュレーションにより空洞パラメータを最適化し、5 セル構造型において Q_0 が 1.22×10^5 、電力効率の指標であるシャントインピーダンスが 656 MΩ/m という、室温運転の高周波加速空洞として世界最高の設計性能が得られたことを示している。

第 5 章「低損失セラミックス材料の研究開発」では、誘電体アシスト型高周波加速空洞の性能が、誘電体セル構造を構成する誘電体材料の誘電特性に大きく依存することから、低損失で将来的に量産可能なアルミナ系セラミックス材料を新しく開発し、ウィスパリングギャラリモード共振器法による共振特性の測定をおこない誘電正接を導出したところ、通常の低損失セラミックスよりも小さい 6×10^{-6} という値が得られたことを示している。

第 6 章「加速空洞の設計と製作」では、誘電体アシスト型高周波加速空洞の原理実証機の設計として、5 セル構造型の 2 次元および 3 次元電磁界シミュレーションによる高周波設計、製作後の共振周波数のチューニング方法、セラミックスの形状誤差が性能に与える影響に関して述べ、さらに高周波電力を供給するための入力カプラーやモードコンバータの構造と設計方法についても言及している。また、製作に関しては、各部品製作精度と全体アセンブリ方法について述べている。

第 7 章「低電力試験」では、ネットワークアナライザを用いた周波数チューニングと、ビードプル振動法による軸上加速電界分布の測定を原理実証機に対しておこない、 Q_0 が 1.19×10^5 、シャントインピーダンスが 617 MΩ/m という測定値が得られたことを示している。

第 8 章「高電界試験」では、クライストロンから取り出したパルス幅 2.0 μs、ピーク電力 1.04 kW の高周波電力を原理実証機に対して入力することに成功し、その結果と前章までの研究結果を統合して、高電界試験により発生した軸上平均加速電界は 1.25 MV/m、軸上最大加速電界は 2.02 MV/m と見積られることを示している。

第 9 章「結論」では、各章において得られた結果を総括し、本論文の結論としている。

これを要するに、本論文は、従来の常伝導型や超伝導型の加速空洞では原理的に困難であった高電界加速と高電力効率を両立する新奇加速空洞として誘電体アシスト型高周波加速構造を提案し、室温運転の高周波加速空洞として世界最高の性能を有することを理論と実験の両面より実証したことで、加速器工学の分野に新たな知見を与えたものであり、工学上及び工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として十分価値あるものと認められる。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。